

明 細 書

露光装置及びデバイス製造方法、メンテナンス方法及び露光方法
技術分野

[0001] 本発明は、投影光学系と液体とを介して基板上に露光光を照射して基板を露光する露光装置及びデバイス製造方法、並びにメンテナンス方法及び露光方法に関するものである。

本願は、2004年2月10日に出願された特願2004-033679号に対し優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 半導体デバイスや液晶表示デバイスは、マスク上に形成されたパターンを感光性の基板上に転写する、いわゆるフォトリソグラフィの手法により製造される。このフォトリソグラフィ工程で使用される露光装置は、マスクを支持するマスクステージと基板を支持する基板ステージとを有し、マスクステージ及び基板ステージを逐次移動しながらマスクのパターンを投影光学系を介して基板に転写するものである。近年、デバイスパターンのより一層の高集積化に対応するために投影光学系の更なる高解像度化が望まれている。投影光学系の解像度は、使用する露光波長が短いほど、また投影光学系の開口数が多いほど高くなる。そのため、露光装置で使用する露光波長は年々短波長化しており、投影光学系の開口数も増大している。そして、現在主流の露光波長はKrFエキシマレーザの248nmであるが、更に短波長のArFエキシマレーザの193nmも実用化されつつある。

また、露光を行う際には、解像度と同様に焦点深度(DOF)も重要となる。解像度R、及び焦点深度 δ はそれぞれ以下の式で表される。

$$R = k_1 \cdot \lambda / NA \quad \cdots (1)$$

$$\delta = \pm k_2 \cdot \lambda / NA^2 \quad \cdots (2)$$

ここで、 λ は露光波長、NAは投影光学系の開口数、 k_1 、 k_2 はプロセス係数である。

(1)式、(2)式より、解像度Rを高めるために、露光波長 λ を短くして、開口数NAを大きくすると、焦点深度 δ が狭くなることが分かる。

- [0003] 焦点深度 δ が狭くなり過ぎると、投影光学系の像面に対して基板表面を合致させることが困難となり、露光動作時のフォーカスマージンが不足するおそれがある。そこで、実質的に露光波長を短くして、且つ焦点深度を広くする方法として、例えば下記特許文献1に開示されている液浸法が提案されている。この液浸法は、投影光学系の下面と基板表面との間を水や有機溶媒等の液体で満たして液浸領域を形成し、液体中での露光光の波長が空気中の $1/n$ (n は液体の屈折率で通常1.2～1.6程度) になることを利用して解像度を向上するとともに、焦点深度を約 n 倍に拡大するというものである。

特許文献1：国際公開第99/49504号パンフレット

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0004] ところで、液浸露光装置において、例えば液体を供給する液体供給管などに液体が滞留すると、その液体は液体供給管の中で淀んだ状態となるため清浄度が低下する可能性がある。そして、清浄度が低下した液体を基板上に供給し、その液体を介して露光処理や計測処理を行うと、基板が汚染されたり、露光精度及び計測精度の劣化を招く。また、例えば投影光学系の像面側における液体の回収動作を行った後、投影光学系の像面側先端部の光学部材や基板ステージ上の計測部材などの所定の部材に回収しきれずに残留した液体を長時間放置しておくと、その液体が乾燥したときに投影光学系の像面側先端部の光学部材や基板ステージ上の計測部材などの所定の部材に液体の付着跡が形成されたり、異物が付着して露光精度や計測精度の劣化を招く。
- [0005] 本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであって、清浄度の低下した液体を供給してしまう不都合を防止することができる露光装置及びデバイス製造方法、並びにメンテナンス方法及び露光方法を提供することを目的とする。また、液体と接触する部材に液体の付着跡が形成される不都合を防止することができる露光装置及びデバイス製造方法、並びにメンテナンス方法及び露光方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 上記の課題を解決するため、本発明は実施の形態に示す図1～図4に対応付けした以下の構成を採用している。

本発明の露光装置は、投影光学系と液体とを介して基板上に露光光を照射して、基板を露光する露光装置において、液体を供給するための液体供給機構と、液体供給機構からの液体供給の停止時間を計測する計測器とを備えたことを特徴とする。

[0007] 本発明によれば、液体供給機構からの液体供給の停止時間を計測器を使って計測することで、その計測結果に基づいて、例えば供給管内部で液体が淀んで清浄度が低下する前に液体供給を再開して供給管内部をフラッシングするなど適切な処置を施すことができる。したがって、淀んで清浄度が低下した液体が基板上に供給される不都合を防止することができる。また、計測器の計測結果に基づいて、残留した液体が乾燥して所定の部材上に液体の付着跡が形成される前に液体を供給して所定の部材を濡らすなど適切な処置を施すことができる。このように、液体供給機構からの液体供給を停止したこと起因して不都合が生じる可能性があっても、計測器の計測結果に基づいて適切な処置を施すことができるので、不都合の発生を防止することができる。

[0008] 本発明のデバイス製造方法は、上記記載の露光装置を用いることを特徴とする。本発明によれば、液体供給機構からの液体供給の停止時間を計測する計測器の計測結果に基づいて適切な処置を施すことができるので、液体供給機構からの液体供給を停止したこと起因する不都合の発生を防止することができる。したがって、所望の性能を有するデバイスを製造することができる。

[0009] 本発明のメンテナンス方法は、液体を介してパターンの像を投影する投影光学系のメンテナンス方法であって、投影光学系の像面側の端面が液浸状態から非液浸状態になってからの経過時間を計測することを特徴とする。

[0010] 本発明によれば、投影光学系の像面側の端面が液浸状態から非液浸状態になってからの時間を計測することで、その計測結果に基づいて、例えば残留した液体が乾燥して投影光学系の像面側の端面に付着跡が形成される前に液体を供給して端面を濡らすことができる。したがって、投影光学系の像面側の端面に付着跡が形成される不都合を防止することができる。このように、経過時間の計測結果に基づいて適

切な処置を施すことができるので、液浸状態から非液浸状態にしたことに起因する不都合の発生を防止することができる。

[0011] 本発明の露光方法は、上記記載の方法を用いてメンテナンスされた投影光学系を用いて、デバイスパターンの像を液体を介して基板上に投影することによって、基板を露光することを特徴とする。

[0012] 本発明によれば、液体の付着跡の形成を防止された状態で、投影光学系及び液体を介して基板を良好に露光することができる。

発明の効果

[0013] 本発明によれば、露光精度及び計測精度を良好に維持することができる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]本発明の露光装置の一実施形態を示す概略構成図である。

[図2]液体供給機構の液体供給が停止している状態を示す図である。

[図3]液体供給機構の液体供給を再開した状態を示す図である。

[図4]半導体デバイスの製造工程の一例を示すフローチャート図である。

符号の説明

[0015] 2A…端面、10…液体供給機構、13…供給管(流路)、15…バルブ、16…流量計、51…上面(平坦部)、60…計測器、300…基準部材(平坦部)、EL…露光光、EX…露光装置、LQ…液体、P…基板、PL…投影光学系、PST…基板ステージ

発明を実施するための最良の形態

[0016] 以下、本発明の露光装置について図面を参照しながら説明する。図1は本発明の露光装置の一実施形態を示す概略構成図である。

図1において、露光装置EXは、マスクMを支持して移動可能なマスクステージMSTと、基板Pを保持する基板ホルダPHを有し、基板ホルダPHに基板Pを保持して移動可能な基板ステージPSTと、マスクステージMSTに支持されているマスクMを露光光ELで照明する照明光学系ILと、露光光ELで照明されたマスクMのパターンの像を基板ステージPSTに支持されている基板Pに投影露光する投影光学系PLと、時間計測を行う計測器(タイマー)60と、露光装置EX全体の動作を統括制御する制

御装置CONTと、制御装置CONTに接続され、露光処理に関する各種情報を記憶した記憶装置MRYとを備えている。

[0017] 本実施形態の露光装置EXは、露光波長を実質的に短くして解像度を向上するとともに焦点深度を実質的に広くするために液浸法を適用した液浸露光装置であって、基板P上に液体LQを供給する液体供給機構10と、基板P上の液体LQを回収する液体回収機構20とを備えている。本実施形態において、液体LQには純水が用いられる。露光装置EXは、少なくともマスクMのパターン像を基板P上に転写している間、液体供給機構10から供給した液体LQにより投影光学系PLの投影領域AR1を含む基板P上の少なくとも一部に、投影領域AR1よりも大きく且つ基板Pよりも小さい液浸領域AR2を局所的に形成する。具体的には、露光装置EXは、投影光学系PLの像面側先端部の光学素子2と基板Pの表面(露光面)との間に液体LQを満たし、この投影光学系PLと基板Pとの間の液体LQ及び投影光学系PLを介してマスクMのパターン像を基板P上に投影することによって、基板Pを露光する。

[0018] ここで、本実施形態では、露光装置EXとしてマスクMと基板Pとを走査方向(所定方向)における互いに異なる向き(逆方向)に同期移動しつつマスクMに形成されたパターンを基板Pに露光する走査型露光装置(所謂スキャニングステッパ)を使用する場合を例にして説明する。以下の説明において、水平面内においてマスクMと基板Pとの同期移動方向(走査方向、所定方向)をX軸方向、水平面内においてX軸方向と直交する方向をY軸方向(非走査方向)、X軸及びY軸方向に垂直で投影光学系PLの光軸AXと一致する方向をZ軸方向とする。また、X軸、Y軸、及びZ軸まわりの回転(傾斜)方向をそれぞれ、 θX 、 θY 、及び θZ 方向とする。なお、ここでいう「基板」は半導体ウエハ上にレジストを塗布したものを含み、「マスク」は基板上に縮小投影されるデバイスパターンを形成されたレチクルを含む。

[0019] 照明光学系ILは、マスクステージMSTに支持されているマスクMを露光光ELで照明するものであり、露光用光源、露光用光源から射出された光束の照度を均一化するオプティカルインテグレータ、オプティカルインテグレータからの露光光ELを集光するコンデンサレンズ、リレーレンズ系、露光光ELによるマスクM上の照明領域をスリット状に設定する可変視野絞り等を有している。マスクM上の所定の照明領域は照

明光学系ILにより均一な照度分布の露光光ELで照明される。照明光学系ILから射出される露光光ELとしては、例えば水銀ランプから射出される輝線(g線、h線、i線)及びKrFエキシマレーザ光(波長248nm)等の遠紫外光(DUV光)や、ArFエキシマレーザ光(波長193nm)及びF₂レーザ光(波長157nm)等の真空紫外光(VUV光)などが用いられる。本実施形態では、ArFエキシマレーザ光が用いられる。上述したように、本実施形態における液体LQは純水であって、露光光ELがArFエキシマレーザ光であっても透過可能である。また、純水は水銀ランプから射出される輝線(g線、h線、i線)及びKrFエキシマレーザ光(波長248nm)等の遠紫外光(DUV光)も透過可能である。

[0020] マスクステージMSTは、マスクMを保持して移動可能であって、投影光学系PLの光軸AXに垂直な平面内、すなわちXY平面内で2次元移動可能及びθZ方向に微小回転可能である。マスクステージMSTはリニアモータ等のマスクステージ駆動装置MSTDにより駆動される。マスクステージ駆動装置MSTDは制御装置CONTにより制御される。マスクステージMST上には移動鏡40が設けられている。また、移動鏡40に対向する位置にはレーザ干渉計41が設けられている。マスクステージMST上のマスクMの2次元方向の位置、及び回転角はレーザ干渉計41によりリアルタイムで計測され、計測結果は制御装置CONTに出力される。制御装置CONTはレーザ干渉計41の計測結果に基づいてマスクステージ駆動装置MSTDを駆動することでマスクステージMSTに支持されているマスクMの位置決めを行う。

[0021] 投影光学系PLは、マスクMのパターンを所定の投影倍率 β で基板Pに投影露光するものであって、基板P側の先端部に設けられた光学素子(レンズ)2を含む複数の光学素子で構成されており、これら光学素子は鏡筒PKで支持されている。本実施形態において、投影光学系PLは、投影倍率 β が例えば1/4あるいは1/5の縮小系である。なお、投影光学系PLは等倍系及び拡大系のいずれでもよい。また、投影光学系PLは、屈折素子を含まない反射系、反射素子を含まない屈折系、屈折素子と反射素子とを含む反射屈折系のいずれであってよい。また、本実施形態の投影光学系PLの先端部の光学素子2は鏡筒PKに対して着脱(交換)可能に設けられている。また、先端部の光学素子2は鏡筒PKより露出しており、液浸領域AR2の液体LQ

は光学素子2に接触する。これにより、金属からなる鏡筒PKの腐蝕等が防止されている。

- [0022] 光学素子2は蛍石で形成されている。蛍石は純水との親和性が高いので、光学素子2の液体接触面(端面)2Aのほぼ全面に液体LQを密着させることができる。すなわち、本実施形態においては光学素子2の液体接触面2Aとの親和性が高い液体(水)LQを供給するようにしているので、光学素子2の液体接触面2Aと液体LQとの密着性が高く、光学素子2は水との親和性が高い石英であってもよい。また光学素子2の液体接触面2Aに親水化(親液化)処理を施して、液体LQとの親和性をより高めるようにしてもよい。
- [0023] 基板ステージPSTは、基板Pを基板ホルダPHを介して保持するZステージ52と、Zステージ52を支持するXYステージ53とを備えている。XYステージ53はベース54上に支持されている。基板ステージPSTはリニアモータ等の基板ステージ駆動装置PSTDにより駆動される。基板ステージ駆動装置PSTDは制御装置CONTにより制御される。Zステージ52は基板ホルダPHに保持されている基板PをZ軸方向、及び θX 、 θY 方向(傾斜方向)に移動可能である。XYステージ53は基板ホルダPHに保持されている基板PをZステージ52を介してXY方向(投影光学系PLの像面と実質的に平行な方向)、及び θZ 方向に移動可能である。なお、ZステージとXYステージとを一体的に設けてよいことは言うまでもない。
- [0024] 基板ステージPST上には凹部55が設けられており、基板ホルダPHは凹部55に配置されている。そして、基板ステージPSTのうち凹部55以外の上面51は、基板ホルダPHに保持された基板Pの表面とほぼ同じ高さ(面一)になるような平坦面(平坦部)となっている。本実施形態では、上面51を有するプレート部材50が基板ステージPST上に対して交換可能に配置されている。基板Pの周囲に基板P表面とほぼ面一の上面51を設けたので、基板Pのエッジ領域Eを液浸露光するときにおいても、投影光学系PLの像面側に液体LQを保持して液浸領域AR2を良好に形成することができる。また、基板Pのエッジ部とその基板Pの周囲に設けられた平坦面(上面)51を有するプレート部材50との間には0.1～2mm程度の隙間があるが、液体LQの表面張力によりその隙間に液体LQが流れ込むことはほとんどなく、基板Pの周縁近傍を露光

する場合にも、プレート部材50により投影光学系PLの下に液体LQを保持することができる。

なお、投影光学系PLの像面側の光路空間が液体LQで満たされるように液浸領域AR2を形成することができるならば、基板Pの表面と上面51とに多少の段差があってもよく、例えば、Z方向に関して、基板Pの表面よりも上面51を低くしてもよい。

[0025] 基板ステージPST(Zステージ52)上には移動鏡42が設けられている。また、移動鏡42に対向する位置にはレーザ干渉計43が設けられている。基板ステージPST上の基板Pの2次元方向の位置、及び回転角はレーザ干渉計43によりリアルタイムで計測され、計測結果は制御装置CONTに出力される。制御装置CONTはレーザ干渉計43の計測結果に基づいて、レーザ干渉計43で規定される2次元座標系内で基板ステージ駆動装置PSTDを介してXYステージ53を駆動することで基板ステージPSTに支持されている基板PのX軸方向及びY軸方向における位置決めを行う。

[0026] また、露光装置EXは、基板P表面の面位置情報を検出するフォーカス検出系30を有している。フォーカス検出系30は、投射部30Aと受光部30Bとを有し、投射部30Aから液体LQを介して基板P表面(露光面)に斜め方向から検出光Laを投射するとともに、その基板Pからの反射光を液体LQを介して受光部30Bで受光することによって、基板P表面の面位置情報を検出する。制御装置CONTは、フォーカス検出系30の動作を制御するとともに、受光部30Bの受光結果に基づいて、所定基準面(像面)に対する基板P表面のZ軸方向における位置(フォーカス位置)を検出する。また、基板P表面における複数の各点での各フォーカス位置を求めることにより、フォーカス検出系30は基板Pの傾斜方向の姿勢を求めることもできる。なお、フォーカス検出系30の構成としては、例えば特開平8-37149号公報に開示されているものを用いることができる。また、フォーカス検出系30は、液体LQを介さずに基板P表面の面位置情報を検出するものを採用してもよい。その場合、フォーカス検出系30の検出光Laの投射位置を、投影光学系PLの投影領域AR1から離れた位置に設定してもよい。

[0027] 制御装置CONTは基板ステージ駆動装置PSTDを介して基板ステージPSTのZステージ52を駆動することにより、Zステージ52に保持されている基板PのZ軸方向における位置(フォーカス位置)、及び θX 、 θY 方向における位置を制御する。すな

わち、Zステージ52は、フォーカス検出系30の検出結果に基づく制御装置CONTからの指令に基づいて動作し、基板Pのフォーカス位置(Z位置)及び傾斜角を制御して基板Pの表面(露光面)を投影光学系PL及び液体LQを介して形成される像面に合わせ込む。

[0028] 投影光学系PLの先端近傍には、基板P上のアライメントマーク1あるいはZステージ52上に設けられた基準部材300上の基板側基準マークPFMを検出する基板アライメント系350が設けられている。なお本実施形態の基板アライメント系350では、例えば特開平4-65603号公報に開示されているような、基板ステージPSTを静止させてマーク上にハロゲンランプからの白色光等の照明光を照射して、得られたマークの画像を撮像素子により所定の撮像視野内で撮像し、画像処理によってマークの位置を計測するFIA(フィールド・イメージ・アライメント)方式が採用されている。

[0029] また、マスクステージMSTの近傍には、マスクMと投影光学系PLとを介してZステージ52上に設けられた基準部材300上のマスク側基準マークMFMを検出するマスクアライメント系360が設けられている。なお本実施形態のマスクアライメント系360では、例えば特開平7-176468号公報に開示されているような、マークに対して光を照射し、CCDカメラ等で撮像したマークの画像データを画像処理してマーク位置を検出するVRA(ビジュアル・レチクル・アライメント)方式が採用されている。

[0030] 液体供給機構10は、所定の液体LQを投影光学系PLの像面側に供給するためのものであって、液体LQを送出可能な液体供給部11と、液体供給部11にその一端部を接続する供給管13(13A、13B)とを備えている。供給管13は液体LQを流すための流路を有している。液体供給部11は、液体LQを収容するタンク、及び加圧ポンプ等を備えている。液体供給部11の液体供給動作は制御装置CONTにより制御される。基板P上に液浸領域AR2を形成する際、液体供給機構10は液体LQを基板P上に供給する。

なお、液体供給部11のタンク、加圧ポンプ等は、必ずしも露光装置EXが備えている必要はなく、露光装置EXが設置される工場などの設備を代用することもできる。

[0031] 供給管13A、13Bの途中には、供給管13A、13Bの流路の開閉を行うためのバルブ15A、15Bがそれぞれ設けられている。バルブ15(15A、15B)の開閉動作は制

御装置CONTにより制御されるようになっている。なお、本実施形態におけるバルブ15は、例えば停電等により露光装置EX(制御装置CONT)の駆動源(電源)が停止した場合に供給管13A、13Bの流路を機械的に閉塞する所謂ノーマルクローズ方式となっている。

[0032] 時間計測を行う計測器60はバルブ15(15A、15B)に接続されている。計測器60は、バルブ15が供給管13の流路を閉じているか否かを検知可能であり、制御装置CONTによってバルブ15が閉じられたことを検知したときに時間計測を開始する。計測器60は、バルブ15が供給管13の流路を閉じたときからの経過時間、すなわち、液体供給機構10からの液体供給の停止時間を計測して、その計測結果は制御装置CONTに出力される。また、制御装置CONTによってバルブ15が開けられたことを検知したときは、計測器60は時間計測を停止、計測時間をリセットする(零に戻す)。

[0033] また、計測器60は、バルブ15が供給管13の流路を開けたときからの経過時間、すなわち液体供給機構10による液体供給時間を計測可能である。計測器60の計測結果は制御装置CONTに出力される。

[0034] 液体回収機構20は、投影光学系PLの像面側の液体LQを回収するためのものであって、液体LQを回収可能な液体回収部21と、液体回収部21にその一端部を接続する回収管23(23A、23B)とを備えている。液体回収部21は例えば真空ポンプ等の真空系(吸引装置)、回収された液体LQと気体とを分離する気液分離器、及び回収した液体LQを収容するタンク等を備えている。なお真空系として、露光装置EXに真空ポンプを設けずに、露光装置EXが配置される工場の真空系を用いるようにしてもよい。液体回収部21の液体回収動作は制御装置CONTにより制御される。基板P上に液浸領域AR2を形成するために、液体回収機構20は液体供給機構10より供給された基板P上の液体LQを所定量回収する。

なお、液体回収部21の真空系、気液分離器、タンク等は、必ずしも露光装置EXが備えている必要はなく、露光装置EXが設置される工場などの設備を代用することもできる。

[0035] 投影光学系PLを構成する複数の光学素子のうち、液体LQに接する光学素子2の近傍には流路形成部材70が配置されている。流路形成部材70は、基板P(基板ステ

ージPST)の上方において、光学素子2の側面を囲むように設けられた環状部材である。流路形成部材70と光学素子2との間には隙間が設けられており、流路形成部材70は光学素子2に対して振動的に分離されるように所定の支持機構で支持されている。

- [0036] 流路形成部材70は、例えばアルミニウム、チタン、ステンレス鋼、ジュラルミン、及びこれらを含む合金によって形成可能である。あるいは、流路形成部材70は、ガラス(石英)等の光透過性を有する透明部材(光学部材)によって構成されてもよい。
- [0037] 流路形成部材70は、基板P(基板ステージPST)の上方に設けられ、その基板P表面に対向するように配置された液体供給口12(12A、12B)を備えている。本実施形態において、流路形成部材70は2つの液体供給口12A、12Bを有している。液体供給口12A、12Bは流路形成部材70の下面70Aに設けられている。
- [0038] また、流路形成部材70は、その内部に液体供給口12A、12Bに対応した供給流路を有している。また、液体供給口12A、12B及び供給流路に対応するように複数(2つ)の供給管13A、13Bが設けられている。そして、供給流路の一端部は供給管13A、13Bを介して液体供給部11にそれぞれ接続され、他端部は液体供給口12A、12Bにそれぞれ接続されている。
- [0039] また、2つの供給管13A、13Bのそれぞれの途中には、液体供給部11から送出され、供給管13A、13Bの流路を流れる液体LQの単位時間当たりの流量を計測する流量計16(16A、16B)が設けられている。流量計16A、16Bの計測結果は制御装置CONTに出力される。
- [0040] また、制御装置CONTは、流量計16の計測結果に基づいて、液体供給機構10によって供給管13を介した液体供給が行われているか否かを判断可能である。つまり、流量計16の計測結果に基づいて、供給管13の流路に液体LQが流れていないと判断したとき、制御装置CONTは、液体供給機構10からの液体供給が停止していると判断することができる。一方、流量計16の計測結果に基づいて、供給管13の流路に液体LQが流れていると判断したとき、制御装置CONTは、液体供給機構10による液体供給が行われていると判断する。
- [0041] また、不図示ではあるが、供給管13A、13Bのそれぞれの途中には、液体供給部1

1から送出され、液体供給口12A、12Bのそれぞれに対する単位時間あたりの液体供給量を制御するマスフローコントローラと呼ばれる流量制御器が設けられている。流量制御器による液体供給量の制御は制御装置CONTの指令信号の下で行われる。

[0042] 更に、流路形成部材70は、基板P(基板ステージPST)の上方に設けられ、その基板P表面に対向するように配置された液体回収口22(22A、22B)を備えている。本実施形態において、流路形成部材70は2つの液体回収口22A、22Bを有している。液体回収口22A、22Bは流路形成部材70の下面70Aに設けられている。

[0043] また、流路形成部材70は、その内部に液体回収口22A、22Bに対応した回収流路を有している。また、液体回収口22A、22B及び回収流路に対応するように複数(2つ)の回収管23A、23Bが設けられている。そして、回収流路の一端部は回収管23A、23Bを介して液体回収部21にそれぞれ接続され、他端部は液体回収口22A、22Bにそれぞれ接続されている。

[0044] 本実施形態において、流路形成部材70は、液体供給機構10及び液体回収機構20それぞれの一部を構成している。そして、液体供給機構10を構成する液体供給口12A、12Bは、投影光学系PLの投影領域AR1を挟んだX軸方向両側のそれぞれの位置に設けられており、液体回収機構20を構成する液体回収口22A、22Bは、投影光学系PLの投影領域AR1に対して液体供給機構10の液体供給口12A、12Bの外側に設けられている。なお、本実施形態における投影光学系PLの投影領域AR1は、Y軸方向を長手方向とし、X軸方向を短手方向とした平面視矩形状に設定されている。

[0045] 液体供給部11及び流量制御器の動作は制御装置CONTにより制御される。基板P上に液体LQを供給する際、制御装置CONTは、液体供給部11より液体LQを送出し、供給管13A、13B、及び供給流路を介して、基板Pの上方に設けられている液体供給口12A、12Bより基板P上に液体LQを供給する。このとき、液体供給口12A、12Bは投影光学系PLの投影領域AR1を挟んだ両側のそれぞれに配置されており、その液体供給口12A、12Bを介して、投影領域AR1の両側から液体LQを供給可能である。また、液体供給口12A、12Bのそれぞれから基板P上に供給される液体L

Qの単位時間あたりの量は、供給管13A、13Bのそれぞれに設けられた流量制御器により個別に制御可能である。

[0046] 液体回収部21の液体回収動作は制御装置CONTにより制御される。制御装置CONTは液体回収部21による単位時間あたりの液体回収量を制御可能である。基板Pの上方に設けられた液体回収口22A、22Bから回収された基板P上の液体LQは、流路形成部材70の回収流路、及び回収管23A、23Bを介して液体回収部21に回収される。

[0047] なお、本実施形態において、供給管13A、13Bは1つの液体供給部11に接続されているが、供給管の数に対応した液体供給部11を複数(ここでは2つ)設け、供給管13A、13Bのそれぞれを前記複数の液体供給部11のそれぞれに接続するようにしてもよい。また、回収管23A、23Bは、1つの液体回収部21に接続されているが、回収管の数に対応した液体回収部21を複数(ここでは2つ)設け、回収管23A、23Bのそれぞれを前記複数の液体回収部21のそれぞれに接続するようにしてもよい。

なお、基板P(基板ステージPST)上に局所的に液浸領域AR2を形成するための機構は、上述に限られず、例えば米国特許公開第2004/020782号公報に開示されている機構を採用することもでき、本国際出願で指定または選択された国の法令で許容される限りにおいて、これらの文献の記載内容を援用して本文の記載の一部とする。

[0048] 投影光学系PLの光学素子2の液体接触面2A、及び流路形成部材70の下面(液体接触面)70Aは親液性(親水性)を有している。本実施形態においては、光学素子2及び流路形成部材70の液体接触面に対して親液処理が施されており、その親液処理によって光学素子2及び流路形成部材70の液体接触面が親液性となっている。換言すれば、基板ステージPSTに保持された基板Pの被露光面(表面)と対向する部材の表面のうち少なくとも液体接触面は親液性となっている。本実施形態における液体LQは極性の大きい水であるため、親液処理(親水処理)としては、例えばアルコールなど極性の大きい分子構造の物質で薄膜を形成することで、この光学素子2や流路形成部材70の液体接触面に親水性を付与する。すなわち、液体LQとして水を用いる場合にはOH基など極性の大きい分子構造を持ったものを前記液体接触面に

設ける処理が望ましい。あるいは、 MgF_2 、 Al_2O_3 、 SiO_2 などの親液性材料を前記液体接触面に設けてもよい。

- [0049] 流路形成部材70の下面(基板P側を向く面)70Aはほぼ平坦面であり、光学素子2の下面(液体接触面)2Aも平坦面となっており、流路形成部材70の下面70Aと光学素子2の下面2Aとはほぼ面一となっている。これにより、広い範囲で液浸領域AR2を良好に形成することができる。

なお、流路形成部材70の下面70Aと光学素子2の下面2Aとは必ずしも面一である必要はなく、流路形成部材70の下面70Aと光学素子2の下面2Aとに段差があってもよい。例えば、流路形成部材70の下面70Aよりも+Z方向側にずれた位置に光学素子2の下面2Aを配置してもよい。

- [0050] また、基板ステージPSTの上面51は平坦面(平坦部)となっており、撥液化処理されて撥液性を有している。上面51の撥液化処理としては、例えばフッ素系樹脂材料あるいはアクリル系樹脂材料等の撥液性材料を塗布、あるいは前記撥液性材料からなる薄膜を貼付する。撥液性にするための撥液性材料としては液体LQに対して非溶解性の材料が用いられる。なお、基板ステージPST全体又は一部を例えばポリ四フッ化エチレン(テフロン(登録商標))等のフッ素系樹脂をはじめとする撥液性を有する材料で形成してもよい。また、基板ステージPSTの上面51を有するプレート部材50を上記ポリ四フッ化エチレンなどからなる撥液性を有する材料によって形成してもよい。

- [0051] 基板ステージPST上において、基板Pの外側の所定位置には、基準部材300が配置されている。基準部材300には、基板アライメント系350により液体を介さずに検出される基準マークPFMと、マスクアライメント系360により液体を介して検出される基準マークMFMとが所定の位置関係で設けられている。基準部材300の上面301Aはほぼ平坦面(平坦部)となっており、基板ステージPSTに保持された基板P表面、及び基板ステージPSTの上面51とはほぼ同じ高さ(面一)に設けられている。基準部材300の上面301Aは、フォーカス検出系30の基準面としての役割も果たすことができる。また、基板アライメント系350は、基板P上に形成されたアライメントマーク1も検出する。

- [0052] また不図示ではあるが、基板ステージPST上のうち、基板Pの外側の所定位置には、計測用センサとして例えば特開昭57-117238号公報に開示されているような照度ムラセンサが配置されている。照度ムラセンサは、基板ステージPSTに保持された基板P表面、及び基板ステージPSTの上面51とほぼ同じ高さ(面一)に設けられた平坦面(平坦部)を有する上板を有している。また、基板ステージPST内部(上板の下)には照度ムラセンサを構成する受光素子(ディテクタ)が埋設されており、前記上板上の液体を介して露光光を受光する。同様に、基板ステージPST上のうち、基板Pの外側の所定位置には、計測用センサとして例えば特開2002-14005号公報に開示されているような空間像計測センサが設けられている。空間像計測センサも、基板ステージPSTに保持された基板P表面、及び基板ステージPSTの上面51とほぼ同じ高さ(面一)に設けられた平坦面(平坦部)を有する上板を有している。また、基板ステージPST上には、例えば特開平11-16816号公報に開示されているような照射量センサ(照度センサ)も設けられており、その照射量センサの上板の上面は基板ステージPSTに保持された基板P表面や基板ステージPSTの上面51とほぼ同じ高さ(面一)に設けられている。なお、上述した計測用センサはいずれもその上板の上の液体を介して光を受光し、各種の計測を行うものである。
- [0053] 次に、上述した構成を有する露光装置EXを用いてマスクMのパターン像を基板Pに露光する方法について説明する。
- [0054] なお、基板Pの露光を開始する前に、基板アライメント系350の検出基準位置とマスクMのパターン像の投影位置との位置関係(ベースライン量)は、基板アライメント系350、マスクアライメント系360、基準部材300等を使って既に計測されているものとする。
- [0055] また、基板ステージPSTに搭載されている各種センサによる計測も既に完了し、その計測結果に基づく補正などの処置が施されているものとする。
- [0056] まず、図2に示すように、露光処理対象である基板Pが搬送系(ロード装置)Hによって基板ステージPST上に搬入(ロード)される。基板Pを基板ステージPSTにロードするとき、基板ステージPSTは、投影光学系PLに対して離れた位置にあるロード位置に移動される。基板Pは、ロード位置において、搬送系Hによって基板ステージPS

T上にロードされる。

- [0057] 基板ステージPSTがロード位置にあるとき、制御装置CONTは、バルブ15を駆動して供給管13の流路を閉じ、液体供給機構10による液体供給を停止している。上述したように、液体供給機構10からの液体供給の停止時間は、計測器60によって計測（モニタ）されている。
- [0058] 次に、制御装置CONTは、基板Pに対して重ね合わせ露光をするために、基板P上の複数のショット領域のそれぞれに付随して形成されているアライメントマーク1を基板アライメント系350を使って計測する。基板アライメント系350がアライメントマーク1を計測しているときの基板ステージPSTの位置はレーザ干渉計43によって計測されている。制御装置CONTは、基板P上に液体LQの液浸領域を形成しない状態で（非液浸状態で）、アライメントマーク1を計測する。アライメントマーク1を計測している間、制御装置CONTはバルブ15を駆動して液体供給機構10の液体供給管13の流路を閉じ、液体供給機構10からの液体供給を停止しているので、計測器60による液体供給の停止時間の計測が継続している。
- [0059] 制御装置CONTは、アライメントマーク1の検出結果に基づいて、基板アライメント系350の検出基準位置に対するショット領域の位置情報を求め、その位置情報と先に計測していたベースライン量とに基づいて基板ステージPSTを移動することで、マスクMのパターン像の投影位置とそのショット領域とを位置合わせする。
- [0060] 基板Pのショット領域の露光を開始するときは、制御装置CONTは、バルブ15を駆動して供給管13の流路を開け、液体供給機構10による液体供給を行う。計測器60は、供給管13の流路が開いたことを検知して、液体供給の停止時間の計測をストップし、その計測時間をリセットする（零に戻す）。そして、制御装置CONTは、液体供給機構10による基板P上に対する液体LQの供給と並行して、液体回収機構20による基板P上の液体LQの回収を行いつつ、基板Pを支持する基板ステージPSTをX軸方向（走査方向）に移動しながら、マスクMのパターン像を投影光学系PLと基板Pとの間の液体LQ及び投影光学系PLを介して基板P上に投影露光する。
- [0061] 液浸領域AR2を形成するために液体供給機構10の液体供給部11から供給された液体LQは、供給管13A、13Bを流通した後、流路形成部材70内部に形成された

供給流路を介して液体供給口12A、12Bより基板P上に供給される。液体供給口12A、12Bから基板P上に供給された液体LQは、投影光学系PLの先端部(光学素子2)の下端面と基板Pとの間に濡れ拡がるように供給され、投影領域AR1を含む基板P上の一部に、基板Pよりも小さく且つ投影領域AR1よりも大きい液浸領域AR2を局所的に形成する。このとき、制御装置CONTは、液体供給機構10のうち投影領域AR1のX軸方向(走査方向)両側に配置された液体供給口12A、12Bのそれぞれより、走査方向に関して投影領域AR1の両側から基板P上への液体LQの供給を同時に行う。これにより、液浸領域AR2は均一且つ良好に形成されている。

[0062] 本実施形態における露光装置EXは、マスクMと基板PとをX軸方向(走査方向)に移動しながらマスクMのパターン像を基板Pに投影露光するものであって、走査露光時には、液浸領域AR2の液体LQ及び投影光学系PLを介してマスクMの一部のパターン像が投影領域AR1内に投影され、マスクMが-X方向(又は+X方向)に速度Vで移動するのに同期して、基板Pが投影領域AR1に対して+X方向(又は-X方向)に速度 $\beta \cdot V$ (β は投影倍率)で移動する。基板P上には複数のショット領域が設定されており、1つのショット領域への露光終了後に、基板Pのステップ移動によって次のショット領域が走査開始位置に移動し、以下、ステップ・アンド・スキャン方式で基板Pを移動しながら各ショット領域に対する走査露光処理が順次行われる。

[0063] 基板Pの液浸露光が終了した後、制御装置CONTは、バルブ15を駆動して供給管13の流路を閉じ、液体供給機構10による液体供給を停止する。計測器60は、バルブ15によって供給管13の流路が閉じられたことを検知して、その時点を基準とした、供給管13の流路が閉じられている時間の計測、すなわち液体供給機構10からの液体供給の停止時間の計測を開始する。計測器60による液体供給の停止時間の計測結果は、制御装置CONTに出力される。

[0064] また、制御装置CONTは、液体供給機構10による液体供給を停止した後も、液体回収機構20の駆動を所定時間継続し、露光済みの基板P及びその基板Pを保持している基板ステージPST上に残留している液体LQを回収する。なお液体供給機構20によって液体LQを回収しているとき、液体回収口22に対して基板ステージPSTをXY方向に移動してもよい。これにより、基板P及び基板ステージPST上の広い範

囲において残留した液体LQを回収することができる。

- [0065] 液体供給機構10による液体供給を停止し、基板P及び基板ステージPST上の液体回収動作を終了した後、制御装置CONTは、基板ステージPSTを、投影光学系PLに対して離れた位置にあるアンロード位置に移動する。そして、アンロード位置において、基板ステージPST上の露光済みの基板Pが搬送系(アンローダ装置)によって搬出(アンロード)される。
- [0066] 上述したように、基板Pのロード及びアンロード中や、基板アライメント系350による非液浸状態での計測処理中などにおける、液体供給機構10からの液体供給の停止時間は、計測器60によって計測(モニタ)されている。
- [0067] 液体供給機構10からの液体供給の停止時間(液体供給機構10からの液体供給の停止を開始してから液体供給を再開するまでの時間)が長時間に及ぶと、例えば供給管13内部に滞留している液体LQは淀んだ状態となるため、清浄度が低下する。その清浄度が低下した液体LQが、次の基板Pの露光処理時や計測処理時に基板P上あるいは基板ステージPST上(基準部材300や計測用センサの上板を含む)に供給されると、供給管13内や基板Pや基板ステージPST上の部材が汚染され、露光精度や計測精度の劣化を招く。
- [0068] そこで、制御装置CONTは、計測器60で計測される停止時間と所定の許容時間とを比較して、液体供給の停止時間が所定の許容時間を超えたときに、液体供給機構10からの液体供給を再開する。例えば、基板Pのアンロード動作に不具合が生じて、露光が完了した基板Pが基板ステージPST上に保持された状態が続くと、液体供給の停止時間が所定の許容時間を超えてしまう可能性がある。このように液体の供給停止時間が所定の許容時間を超えた場合には、制御装置CONTは液体供給機構10からの液体供給を再開する。こうすることにより、供給管13内部に滞留している液体LQを排出(フラッシング)することができるとともに、供給管13内部の液体LQの滞留を防止することができる。したがって、供給管13内部の液体LQの清浄度が低下する不都合の発生が防止される。
- [0069] 前記許容時間、つまり液体供給機構10の液体供給の停止を開始してから液体供給を再開するまでの許容時間は、例えば供給管13内部に滞留している液体LQの

清浄度が許容レベル以下に劣化しない時間に基づいて設定可能である。この許容時間に関する情報は、実験やシミュレーションなどによって予め求められており、記憶装置MRYに記憶されている。

[0070] 例えば、上述したように、供給管13内部に液体LQが滞留した状態で長時間放置しておくと、供給管13内部や供給口12近傍にバクテリアなどの菌類が増殖し、液体LQの清浄度を低下させる。したがって、前記許容時間は、供給管13の流路におけるバクテリアの増殖時間を考慮して決定されることが好ましい。この場合の許容時間 T_B は、実験やシミュレーションによって予め求めて記憶装置MRYに記憶しておくことができる。そして、液体供給機構10からの液体供給の停止時間が、バクテリアの増殖時間を考慮して決定された許容時間 T_B を越えたときに、液体供給機構10からの液体供給を再開することで、供給管13内部や供給口12近傍におけるバクテリアの発生(増殖)を防止することができる。

[0071] また、基板Pの液浸露光中には、投影光学系PLの像面側端面2Aを液体LQに接触させた状態(液浸状態)で基板P上に露光光ELを照射するが、基板Pの液浸露光が終了し、液体LQの回収動作を行って非液浸状態にした後、投影光学系PLの像面側端面2Aに液体LQが付着(残留)した状態で長時間放置しておくと、その液体LQが乾燥し、投影光学系PLの像面側端面2Aに液体の付着跡(以降、「ウォーターマーク」という)が形成されたり、異物が付着するなどの不都合が生じる。ウォーターマークは、端面2Aに付着した液体LQに周囲の不純物が溶け込んだり混入した後、その液体LQが乾燥することで生じると考えられる。一方で、ウォーターマークは、その端面2Aを液体LQで濡らすことで、その形成を抑制されたり除去されと考えられる。したがって、上記許容時間は、投影光学系PLの像面側端面2Aに付着した液体LQの乾燥時間を考慮して決定されてもよい。あるいは、投影光学系PLの端面2Aに付着している液体LQの乾燥によって、その端面2Aに不純物が付着しないように決定されてもよい。このウォーターマーク形成に関する許容時間 T_{WM} も実験やシミュレーションによって予め求めて記憶装置MRYに記憶しておくことができる。そして、制御装置CONTは、計測器60を使って、投影光学系PLの像面側の端面2Aが液浸状態から非液浸状態になってからの経過時間を計測し、その経過時間(すなわち液体供給機構

10からの液体供給の停止時間)が許容時間 T_{WM} を越えたときに、投影光学系PLの端面2Aが液体LQを接触するように(液体LQで濡れるように)、液体供給機構10からの液体供給を再開することで、ウォーターマークの発生を防止することができる。

- [0072] 液浸状態から非液浸状態に移行してからの経過時間が許容時間 T_{WM} を越え、液体供給機構10による液体供給を再開するときは、図3に示すように、投影光学系PLと基板ステージPST上の平坦面とを対向させた後に、液体供給機構10からの液体供給を再開する。すなわち、液体供給機構10からの液体供給の停止時間が所定の許容時間を超えたときに、制御装置CONTは、レーザ干渉計43の計測結果に基づいて、投影光学系PLと基板ステージPST上の平坦面とが対向しているかどうかを判断し、投影光学系PLと基板ステージPST上の平坦面とが対向していると判断した場合に、液体供給機構10から液体供給を再開する。こうすることにより、投影光学系PLの端面2Aを液体LQで濡らすことができる。なお、この場合の基板ステージPST上の平坦面とは、基板ステージPSTの上面51、基板ステージPSTに保持された基板P表面、基準部材300、計測用センサ(照度ムラセンサ、空間像センサなど)の上板を含む。なお、投影光学系PLと基板ステージPST上の平坦面とが対向していない判断した場合には、制御装置CONTは、レーザ干渉計43の計測結果に基づいて基板ステージPSTを移動し、投影光学系PLと基板ステージPST上の平坦面とを対向させてから液体供給機構10からの液体供給を開始する。また、液体供給機構10からの液体供給を開始する場合には、基板ステージPST上に基板Pが保持されていることが望ましい。

また、上述したように、基準部材300上や計測用センサの上板上に液体LQを配置した液浸状態で計測処理を行った後、非液浸状態に移行したとき、基準部材300上や計測用センサの上板上、あるいは基板ステージPSTの上面51などにウォーターマークが形成される可能性がある。そこで、投影光学系PLの端面2Aを濡らすときは、投影光学系PLと基準部材300(あるいは計測用センサの上板)とを対向させた状態で、液体供給機構10より液体LQを供給することで、投影光学系PLの端面2Aにウォーターマークが形成されることを防止できるとともに、基準部材300上などにウォーターマークが形成される不都合も防止することができる。

- [0073] また、バクテリアの増殖時間を考慮して決定された許容時間を T_B 、ウォーターマークが形成される時間を考慮して決定された許容時間を T_{WM} 、液体供給機構10による液体供給の停止時間(液浸状態から非液浸状態に移行してからの経過時間)を T としたとき、 $T = \min(T_B, T_{WM})$ となった時点で、液体供給を再開するようにしてもよい。
- [0074] また、許容時間は、上述の T_B や T_{WM} に限らず、例えば基準部材300上や上板、上面51に関しても許容時間を予め定めておき、基準部材300上などが液浸状態から非液浸状態になってからの経過時間が許容時間を超えたときに、基準部材300などを液体LQで濡らすようにしてもよい。このように、基準部材300や上板などにウォーターマークが形成されることを防止することにより、これら基準部材300や上板を使ったセンサの計測精度の劣化を防止することができる。
- [0075] また、フォーカス検出系30においては、フォーカス検出系30の光学系を構成する複数の光学部材のうち所定の光学部材を液浸領域AR2に接触させる構成が考えられる。したがって、この光学部材にウォーターマークが形成されることを防止するための許容時間を決めておき、その許容時間を超えたときに液体供給機構10による液体供給を再開するようにしてもよい。こうすることにより、フォーカス検出系30の検出精度を維持することができる。
- [0076] また、基板Pを基板ステージPSTにロードした後、その基板Pを液浸露光して基板ステージPSTからアンロードするまでの一連の処理の途中で、液体供給の停止時間が許容時間を超えたときは、処理の途中で液体供給機構10による液体供給を再開するようにしてもよい。例えば、液体供給を停止し、基板アライメント系350で非液浸状態で基準部材300上の基準マークPFMあるいは基板P上のアライメントマーク1の計測を行っている最中に、許容時間 T_B (又は T_{WM})が経過したときは、基板アライメント系350による計測動作を一旦中止し、基準部材300とは別の基板ステージPST上の平坦面を投影光学系PLの端面2Aに対向させ、液体供給を再開する。そして、投影光学系PLの端面2Aを濡らした後、液体回収機構20で液体LQを回収し、基板アライメント系350による計測動作を再開すればよい。
- [0077] また、上述した実施形態においては、基板Pを基板ステージPSTにロードした後、その基板Pを液浸露光して基板ステージPSTからアンロードするまでの一連の処理

を例にして説明したが、露光装置EXのメンテナンス時、あるいはマニュアルアシスト時に液体供給の再開を行うことももちろん可能である。すなわち、基板Pの交換中だけでなく、部品交換などの露光装置EXのメンテナンス中などにも液体供給機構10からの液体供給を停止しなければならない状況も生じ得る。このような場合も、計測器60で計測される液体供給機構10からの液体供給の停止時間を計測して、その計測結果に基づいて最適な処置を施すことができる。例えば露光装置EXのメンテナンス中に、液体供給機構10からの液体供給を停止しているときには、上記許容時間を越えたときに、基板ステージPSTを投影光学系PLの端面2Aに対向させるように移動し、液体供給を再開すればよい。また、例えばメンテナンス中や搬送エラーなどによって、露光処理対象である基板Pが基板ステージPST(基板ホルダPH)上に保持されていないときは、ダミー基板を基板ステージPSTに保持し、基板ステージPSTを投影光学系PLの下に移動させた状態で液体供給を再開するようにしてもよい。このように、基板ホルダPHに基板Pあるいはダミー基板を保持した状態で、液体供給を再開することで、基板ステージPSTの凹部55内部などに液体LQが浸入して、漏電や錆びが発生する不都合を防止することができる。

- [0078] 以上説明したように、液体供給機構10からの液体供給の停止時間を計測器60を使って計測することで、その計測結果に基づいて、例えば液体LQが淀んで清浄度が低下する前に液体供給を再開してフラッシング動作を実行するなど適切な処置を施すことができ、清浄度が低下した液体LQが基板P上や計測部材である基準部材300や計測用センサの上板上に供給される不都合を防止することもできる。また、計測器60の計測結果に基づいて、投影光学系PLの端面2Aや基準部材300上にウォーターマークが形成される前に液体LQで濡らすなど適切な処置を施すことができる。したがって、投影光学系PLの端面2Aなどにウォーターマークが形成される不都合を防止することができる。このように、液体供給機構10からの液体供給を停止したことにより起因して不都合が生じる可能性があっても、計測器60の計測結果に基づいて適切な処置を施すことができるので、上記不都合の発生を防止することができる。

- [0079] バクテリアなどの発生を防止するために、液体LQ中に防腐剤などの添加剤を添加することも考えられるが、本実施形態のように液体LQとして純水を使用する場合、液

体LQの材料特性が変化するため、添加剤を添加することは好ましくない。したがって、本発明のように、液体供給を再開して供給管13をフラッシング(クリーニング)する構成とすることにより、液体LQの材料特性をバクテリア対応にすることなく、バクテリアの発生を防止することができる。

[0080] なお、供給管13のクリーニングや端面2Aのウォーターマーク対策として液体供給機構10から供給された液体LQは、液体回収機構20とは別の回収機構で回収されてもよい。一方で、液体回収機構20の回収口22や回収管23内部においても、バクテリアが発生する可能性があるので、液体回収機構20を使って液体回収を行うことで、回収管23や回収口22のクリーニングを行うことができる。

[0081] なお、上述したように、液体供給の再開を行う場合、基板ステージPSTを投影光学系PLの端面2Aに対向するように移動させるが、所定の警報装置で基板ステージPSTが移動する旨や液体供給が再開される旨を報知するようにしてもよい。こうすることにより、例えばメンテナンス中に露光装置EX内部で作業を行っているオペレータは、基板ステージPSTが移動する旨や液体供給が再開される旨を知ることができる。なお警報装置としては、警告音、警告灯、ディスプレイ表示など、任意の手段を用いることができる。

また、計測器60の計測時間が所定の許容時間を超えたら、所定の警報装置でオペレータにそれを通報するだけでもよい。このようにすることで、オペレータが液体供給機構10からの液体供給を再開するための操作を行なうこともできる。

[0082] また、液体供給を再開するときは、投影光学系PLの端面2Aと基板ステージPSTとを対向させる構成の他に、平坦面を有する基板ステージPSTとは別の部材(装置)を投影光学系PLの端面2Aに対向させるようにしてもよい。

たとえば、特開平11-135400号公報に開示されているように、基板ステージPSTとは別に、計測用のステージが備えられている場合には、その計測用ステージを投影光学系PLと対向させた状態で液体供給機構10からの液体供給を開始するようにしてもよい。

このような場合も、制御装置CONTは、計測用ステージなどの別の部材が投影光学系PLに対向しているか否かを判断した後に、液体供給機構10からの液体供給を

開始するのが望ましい。

- [0083] また、上述したような複数の処理(搬送処理、計測処理、及び露光処理を含む)を順次行う場合、上記許容時間を超えないように、複数の処理を行う順番を設定するようにしてもよい。つまり、例えば、非液浸状態での基板アライメント系350による基準マークPFMの計測や基板P上のアライメントマーク1の計測を連続して行くと、液体供給の停止時間が許容時間を超える可能性が高くなるが、液浸状態での処理、例えばマスクアライメント系360による基準マークMFPMの計測処理や照度ムラセンサを使った計測処理と非液浸状態での処理とを例えば交互に行うことにより、液体供給の停止時間が許容時間を超える可能性が低くなる。このように、上記許容時間に基づいて、複数の処理を非液浸状態及び液浸状態で順次行う場合、上記許容時間に基づいて、前記複数の処理を行う順番を設定するようにしてもよい。
- [0084] また、上述の実施形態においては、バルブ15により供給管13の流路が閉じられているか否かを計測器60が検知するようにしているが、計測器60を制御装置CONT内に配置し、制御装置CONTが供給管13の流路を閉じるようにバルブ15を動作させたときから時間計測を開始するようにしてもよい。
- [0085] また、上述した実施形態においては、バルブ15の動作から液体供給機構10からの液体供給の停止を判断しているが、上述したように、流量計16の計測結果に基づいて、液体供給の停止を判断することもできる。したがって、液体供給機構10による液体供給を停止したときは、制御装置CONTは、流量計16の計測結果に基づいて、計測器60による時間計測を開始するようにしてもよい。
- [0086] また、供給管13に設けられている流量計16で計測された流量が所定量よりも少なくなったときを基準として、計測器60の時間計測を開始してもよい。
- [0087] さらに回収管23に流量計を設けて、その流量をモニタすることによっても、液体供給機構10からの液体供給が停止されたことや投影光学系PLの光学素子2の端面2Aが非液浸状態になったことを検知することができるので、回収管23の流量計で計測された流量が所定量よりも少なくなったときを基準として計測器60の時間計測を開始するようにしてもよい。
- [0088] また投影光学系PLの光学素子2の像面側の液体の有無を検知するセンサを搭載

して、そのセンサが液体がないことを検知したときを基準として計測器60の時間計測を開始するようにしてもよい。このセンサとして、例えばフォーカス検出系30を用いてもよい。フォーカス検出系30の検出光(反射光)は投影光学系PLの像面側を通過しており、投影光学系PLの像面側、すなわち検出光(反射光)の光路に液体LQがなくなってしまうとフォーカス検出系30に検出エラーが生じるため、その検出エラーをモニタすることで、投影光学系PLの光学素子2の像面側の液体の有無を検知できる。

[0089] また、上述したような、液体供給機構10からの液体供給が停止されたことや、投影光学系PLの光学素子2の端面2Aが非液浸状態を検知するための機構を複数用意しておき、それらを適宜組み合わせて計測器60の時間計測を開始するようにしてもよい。

また、露光装置EXのメンテナンスなど、液体供給機構10からの液体供給の停止時間が許容時間を超える可能性がある場合には、液体供給機構10からの液体供給と液体回収機構20の液体回収を所定時間だけ継続し、投影光学系PLの光学素子2の端面2A、ノズル部材70の下面70A、基板ステージPSTの上面51などの液体接触面を清浄な液体LQで洗浄した後に、液体供給機構10からの液体供給を停止するようにしてもよい。このようにすることで、仮に液体LQが光学素子2の端面2Aなどに残留しても、その残留した液体LQに含まれる不純物や汚染物を少なくすることで、ウォーターマークなどの付着跡の形成を抑えることができる。

[0090] さらに上述の実施形態においては、液体供給機構10からの液体供給の停止時間が所定許容時間を経過したときに、液体供給機構10からの液体供給を再開して停止時間の長期化に起因する不都合を防止するようにしている。しかしながら、メンテナンスや各種エラーからの復帰のために所定の許容時間を経過しても液体供給を開始できない場合もある。

その場合には、液体供給の停止時間の計測を継続し、その結果に基づいて、供給管13や光学素子2の交換などを行うようにしてもよい。

[0091] また、上述の実施形態においては、投影光学系PLの光学素子2の光射出側(像面側)への液体供給の停止時間を計測するようにしているが、国際公開第2004/019128号に開示されているように、投影光学系PLの光学素子2の光入射側の光路空

間も液体(純水)で満たす場合には、光学素子2の光入射側への液体供給の停止時間、あるいは光学素子2の光入射側が液浸状態から非液浸状態に変更されてからの時間を計測するようにしてもよい。

また、上述の実施形態においては、液体供給機構10からの液体供給の停止時間を計測することで、露光装置EXに搭載された投影光学系PLの光学素子2の端面2Aの非液浸状態の時間を計測できるようにしているが、投影光学系PLを露光装置EXに搭載する前の調整工程などにおいても、例えば国際公開第2004/057295号公報に記載されているように、投影光学系PLの端面2Aを液体に浸して各種の計測を行うことが考えられる。このような場合も、投影光学系PLの端面2Aを液浸状態から非液浸状態にしてからの経過時間を計測しておき、例えば所定の許容時間が経過したら端面2Aを液体に浸すようにするとよい。

[0092] 上述したように、本実施形態における液体LQは純水により構成されている。純水は、半導体製造工場等で容易に大量に入手できるとともに、基板P上のフォトレジストや光学素子(レンズ)等に対する悪影響がない利点がある。また、純水は環境に対する悪影響がないとともに、不純物の含有量が極めて低いため、基板Pの表面、及び投影光学系PLの先端面に設けられている光学素子の表面を洗浄する作用も期待できる。なお工場等から供給される純水の純度が低い場合には、露光装置が超純水製造器を持つようにしてもよい。

[0093] そして、波長が193nm程度の露光光ELに対する純水(水)の屈折率 n はほぼ1.44と言われており、露光光ELの光源としてArFエキシマレーザ光(波長193nm)を用いた場合、基板P上では $1/n$ 、すなわち約134nmに短波長化されて高い解像度が得られる。更に、焦点深度は空气中に比べて約 n 倍、すなわち約1.44倍に拡大されるため、空气中で使用する場合と同程度の焦点深度が確保できればよい場合には、投影光学系PLの開口数をより増加させることができ、この点でも解像度が向上する。

[0094] なお、上述したように液浸法を用いた場合には、投影光学系の開口数NAが0.9～1.3になることもある。このように投影光学系の開口数NAが大きくなる場合には、従来から露光光として用いられているランダム偏光光では偏光効果によって結像性能が悪化することもあるので、偏光照明を用いるのが望ましい。その場合、マスク(レ

チクル)のライン・アンド・スペースパターンのラインパターンの長手方向に合わせた直線偏光照明を行い、マスク(レチクル)のパターンからは、S偏光成分(TE偏光成分)、すなわちラインパターンの長手方向に沿った偏光方向成分の回折光が多く射出されるようにするとよい。投影光学系PLと基板P表面に塗布されたレジストとの間が液体で満たされている場合、投影光学系PLと基板P表面に塗布されたレジストとの間が空気(気体)で満たされている場合に比べて、コントラストの向上に寄与するS偏光成分(TE偏光成分)の回折光のレジスト表面での透過率が高くなるため、投影光学系の開口数NAが1.0を越えるような場合でも高い結像性能を得ることができる。また、位相シフトマスクや特開平6-188169号公報に開示されているようなラインパターンの長手方向に合わせた斜入射照明法(特にダイポール照明法)等を適宜組み合わせると更に効果的である。

- [0095] また、例えばArFエキシマレーザを露光光とし、1/4程度の縮小倍率の投影光学系PLを使って、微細なライン・アンド・スペースパターン(例えば25~50nm程度のライン・アンド・スペース)を基板P上に露光するような場合、マスクMの構造(例えばパターンの微細度やクロムの厚み)によっては、Wave guide効果によりマスクMが偏光板として作用し、コントラストを低下させるP偏光成分(TM偏光成分)の回折光よりS偏光成分(TE偏光成分)の回折光が多くマスクMから射出されるようになるので、上述の直線偏光照明を用いることが望ましいが、ランダム偏光光でマスクMを照明しても、投影光学系PLの開口数NAが0.9~1.3のように大きい場合でも高い解像性能を得ることができる。また、マスクM上の極微細なライン・アンド・スペースパターンを基板P上に露光するような場合、Wire Grid効果によりP偏光成分(TM偏光成分)がS偏光成分(TE偏光成分)よりも大きくなる可能性もあるが、例えばArFエキシマレーザを露光光とし、1/4程度の縮小倍率の投影光学系PLを使って、25nmより大きいライン・アンド・スペースパターンを基板P上に露光するような場合には、S偏光成分(TE偏光成分)の回折光がP偏光成分(TM偏光成分)の回折光よりも多くマスクMから射出されるので、投影光学系PLの開口数NAが0.9~1.3のように大きい場合でも高い解像性能を得ることができる。

- [0096] 更に、マスク(レチクル)のラインパターンの長手方向に合わせた直線偏光照明(S

偏光照明)だけでなく、特開平6-53120号公報に開示されているように、光軸を中心とした円の接線(周)方向に直線偏光する偏光照明法と斜入射照明法との組み合わせも効果的である。特に、マスク(レチクル)のパターンが所定の一方向に延びるラインパターンだけでなく、複数の異なる方向に延びるラインパターンが混在する場合には、同じく特開平6-53120号公報に開示されているように、光軸を中心とした円の接線方向に直線偏光する偏光照明法と輪帯照明法とを併用することによって、投影光学系の開口数NAが大きい場合でも高い結像性能を得ることができる。

- [0097] 本実施形態では、投影光学系PLの先端に光学素子2が取り付けられており、このレンズにより投影光学系PLの光学特性、例えば収差(球面収差、コマ収差等)の調整を行うことができる。なお、投影光学系PLの先端に取り付ける光学素子としては、投影光学系PLの光学特性の調整に用いる光学プレートであってもよい。あるいは露光光ELを透過可能な平行平板であってもよい。
- [0098] なお、液体LQの流れによって生じる投影光学系PLの先端の光学素子と基板Pとの間の圧力が大きい場合には、その光学素子を交換可能とするのではなく、その圧力によって光学素子が動かないように堅固に固定してもよい。
- [0099] なお、本実施形態では、投影光学系PLと基板P表面との間は液体LQで満たされている構成であるが、例えば基板Pの表面に平行平板からなるカバーガラスを取り付けた状態で液体LQを満たす構成であってもよい。
- [0100] なお、本実施形態の液体LQは水であるが、水以外の液体であってもよい、例えば、露光光ELの光源が F_2 レーザである場合、この F_2 レーザ光は水を透過しないので、液体LQとしては F_2 レーザ光を透過可能な例えば、過フッ化ポリエーテル(PFPE)やフッ素系オイル等のフッ素系流体であってもよい。この場合、液体LQと接触する部分には、例えばフッ素を含む極性の小さい分子構造の物質で薄膜を形成することで親液化処理する。また、液体LQとしては、その他にも、露光光ELに対する透過性がある程度だけ屈折率が高く、投影光学系PLや基板P表面に塗布されているフォトリジストに対して安定なもの(例えばセダー油)を用いることも可能である。この場合も表面処理は用いる液体LQの極性に応じて行われる。
- [0101] なお、上記各実施形態の基板Pとしては、半導体デバイス製造用の半導体ウエハ

のみならず、ディスプレイデバイス用のガラス基板や、薄膜磁気ヘッド用のセラミックウエハ、あるいは露光装置で用いられるマスクまたはレチクルの原版(合成石英、シリコンウエハ)等が適用される。

- [0102] 露光装置EXとしては、マスクMと基板Pとを同期移動してマスクMのパターンを走査露光するステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置(スキャニングステッパ)の他に、マスクMと基板Pとを静止した状態でマスクMのパターンを一括露光し、基板Pを順次ステップ移動させるステップ・アンド・リピート方式の投影露光装置(ステッパ)にも適用することができる。また、本発明は基板P上で少なくとも2つのパターンを部分的に重ねて転写するステップ・アンド・スティッチ方式の露光装置にも適用できる。
- [0103] また、本発明は、ウエハなどの被処理基板を保持可能な基板ステージを複数備えたマルチステージ型の露光装置にも適用できる。例えば、基板ステージを2つ備えたツインステージ型の露光装置の構造及び露光動作は、例えば特開平10-163099号及び特開平10-214783号(対応米国特許6,341,007、6,400,441、6,549,269及び6,590,634)、特表2000-505958号(対応米国特許5,969,441)あるいは米国特許6,208,407に開示されており、本国際出願で指定または選択された国の法令で許容される限りにおいて、それらの開示を援用して本文の記載の一部とする。
- [0104] また、上述の実施形態においては、投影光学系PLと基板Pとの間に局所的に液体を満たす露光装置を採用しているが、本発明は、露光対象の基板の表面全体を液体で覆った状態で露光を行う液浸露光装置にも適用可能である。露光対象の基板の表面全体が液体で覆われる液浸露光装置の構造及び露光動作は、例えば特開平6-124873号公報、特開平10-303114号公報、米国特許第5,825,043号などに詳細に記載されており、本国際出願で指定または選択された国の法令で許容される限りにおいて、この文献の記載内容を援用して本文の記載の一部とする。
- [0105] 露光装置EXの種類としては、基板Pに半導体素子パターンを露光する半導体素子製造用の露光装置に限られず、液晶表示素子製造用又はディスプレイ製造用の露光装置や、薄膜磁気ヘッド、撮像素子(CCD)あるいはレチクル又はマスクなどを

製造するための露光装置などにも広く適用できる。

- [0106] 基板ステージPSTやマスクステージMSTにリニアモータ(USP5,623,853またはUSP5,528,118参照)を用いる場合は、エアベアリングを用いたエア浮上型およびローレンツ力またはリアクタンス力を用いた磁気浮上型のどちらを用いてもよい。また、各ステージPST、MSTは、ガイドに沿って移動するタイプでもよく、ガイドを設けないガイドレスタイプであってもよい。
- [0107] 各ステージPST、MSTの駆動機構としては、二次元に磁石を配置した磁石ユニットと、二次元にコイルを配置した電機子ユニットとを対向させ電磁力により各ステージPST、MSTを駆動する平面モータを用いてもよい。この場合、磁石ユニットと電機子ユニットとのいずれか一方をステージPST、MSTに接続し、磁石ユニットと電機子ユニットとの他方をステージPST、MSTの移動面側に設ければよい。
- [0108] 基板ステージPSTの移動により発生する反力は、投影光学系PLに伝わらないように、特開平8-166475号公報(USP5,528,118)に記載されているように、フレーム部材を用いて機械的に床(大地)に逃がしてもよい。
- マスクステージMSTの移動により発生する反力は、投影光学系PLに伝わらないように、特開平8-330224号公報(米国特許第5,874,820)に記載されているように、フレーム部材を用いて機械的に床(大地)に逃がしてもよい。
- [0109] 以上のように、本願実施形態の露光装置EXは、本願特許請求の範囲に挙げられた各構成要素を含む各種サブシステムを、所定の機械的精度、電氣的精度、光学的精度を保つように、組み立てることで製造される。これら各種精度を確保するために、この組み立ての前後には、各種光学系については光学的精度を達成するための調整、各種機械系については機械的精度を達成するための調整、各種電気系については電氣的精度を達成するための調整が行われる。各種サブシステムから露光装置への組み立て工程は、各種サブシステム相互の、機械的接続、電気回路の配線接続、気圧回路の配管接続等が含まれる。この各種サブシステムから露光装置への組み立て工程の前に、各サブシステム個々の組み立て工程があることはいうまでもない。各種サブシステムの露光装置への組み立て工程が終了したら、総合調整が行われ、露光装置全体としての各種精度が確保される。なお、露光装置の製造は温度およ

びクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

- [0110] 半導体デバイス等のマイクロデバイスは、図4に示すように、マイクロデバイスの機能・性能設計を行うステップ201、この設計ステップに基づいたマスク(レチクル)を製作するステップ202、デバイスの基材である基板を製造するステップ203、前述した実施形態の露光装置EXによりマスクのパターンを基板に露光する露光処理ステップ204、デバイス組み立てステップ(ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む)205、検査ステップ206等を経て製造される。

請求の範囲

- [1] 投影光学系と液体とを介して基板上に露光光を照射して、前記基板を露光する露光装置において、
前記液体を供給するための液体供給機構と、
前記液体供給機構からの液体供給の停止時間を計測する計測器とを備えたことを特徴とする露光装置。
- [2] 前記停止時間が所定の許容時間を超えたときに、前記液体供給機構からの液体供給を再開することを特徴とする請求項1記載の露光装置。
- [3] 前記液体供給機構は液体を流すための流路を有し、
前記許容時間は、前記流路におけるバクテリアの増殖時間を考慮して決定されることを特徴とする請求項2記載の露光装置。
- [4] 前記露光光は、前記投影光学系の端面が前記液体に接触した状態で前記基板上に照射され、
前記許容時間は、前記投影光学系の端面に付着した液体の乾燥時間を考慮して決定されることを特徴とする請求項2記載の露光装置。
- [5] 前記許容時間は、前記投影光学系の端面の液体の乾燥により、その端面に不純物が付着しないように決定されることを特徴とする請求項4記載の露光装置。
- [6] 前記投影光学系の端面が液体と接触するように、前記液体供給機構からの液体供給を再開することを特徴とする請求項4記載の露光装置。
- [7] 前記基板を保持する基板ステージを備え、
前記許容時間を超えたときに、前記投影光学系と前記基板ステージの平坦部とを対向させた後に、前記液体供給機構からの液体供給を再開することを特徴とする請求項2記載の露光装置。
- [8] 前記基板ステージ上に基板又はダミー基板を保持した状態で前記液体供給機構からの液体供給を再開することを特徴とする請求項7記載の露光装置。
- [9] 前記液体は純水であることを特徴とする請求項1記載の露光装置。
- [10] 前記液体供給機構は、前記液体を流すための流路と該流路の開閉を行うためのバルブとを有し、

前記液体供給機構からの液体供給の停止は、前記バルブの動作から判断すること
を特徴とする請求項1記載の露光装置。

- [11] 前記液体供給機構は、前記液体を流すための流路と該流路を流れる液体の流量
を計測する流量計とを有し、

前記液体供給機構からの液体供給の停止は、前記流量計の計測結果に基づいて
判断されることを特徴とする請求項1記載の露光装置。

- [12] 前記投影光学系と所定物体とを対向させた状態で、前記液体供給機構からの液体
供給を再開する請求項2記載の露光装置。

- [13] 前記物体は、前記投影光学系の像面で移動可能なステージを含む請求項12記載
の露光装置。

- [14] 請求項1記載の露光装置を用いることを特徴とするデバイス製造方法。

- [15] 液体を介してパターンの像を投影する投影光学系のメンテナンス方法であって、
前記投影光学系の像面側の端面が液浸状態から非液浸状態になってからの経過
時間を計測することを特徴とするメンテナンス方法。

- [16] 前記経過時間が所定の許容時間を超えたときに、前記投影光学系の像面側の端
面を液体で濡らすことを特徴とする請求項15記載のメンテナンス方法。

- [17] 請求項15記載の方法を用いてメンテナンスされた投影光学系を用いて、デバイス
パターンの像を液体を介して基板上に投影することによって、前記基板を露光するこ
とを特徴とする露光方法。

要 約 書

清浄度の低下した液体を供給してしまう不都合を防止するとともに、ウォーターマークが形成される不都合を防止することができる露光装置を提供する。露光装置(EX)は、投影光学系(P L)と液体(LQとを介して基板(P)上に露光光(EL)を照射して、基板(P)を露光するものであって、液体(LQ)を供給するための液体供給機構(10)と、液体供給機構(10)からの液体供給の停止時間を計測する計測器(60)とを備えている。

Figure 1 is a schematic diagram of a liquid processing apparatus. The diagram shows a cross-section of a substrate 1 with a liquid layer 2. A liquid supply unit 10 and a liquid recovery unit 20 are connected to the substrate. The liquid supply unit 10 includes a liquid supply tank 11, a pump 12A, and a nozzle 12B. The liquid recovery unit 20 includes a pump 22A and a nozzle 22B. A control unit 30 is connected to the liquid supply unit 10 and the liquid recovery unit 20. A mask stage driving unit 40 and a substrate stage driving unit 43 are also shown. A coordinate system (X, Y, Z) is indicated in the top right corner.

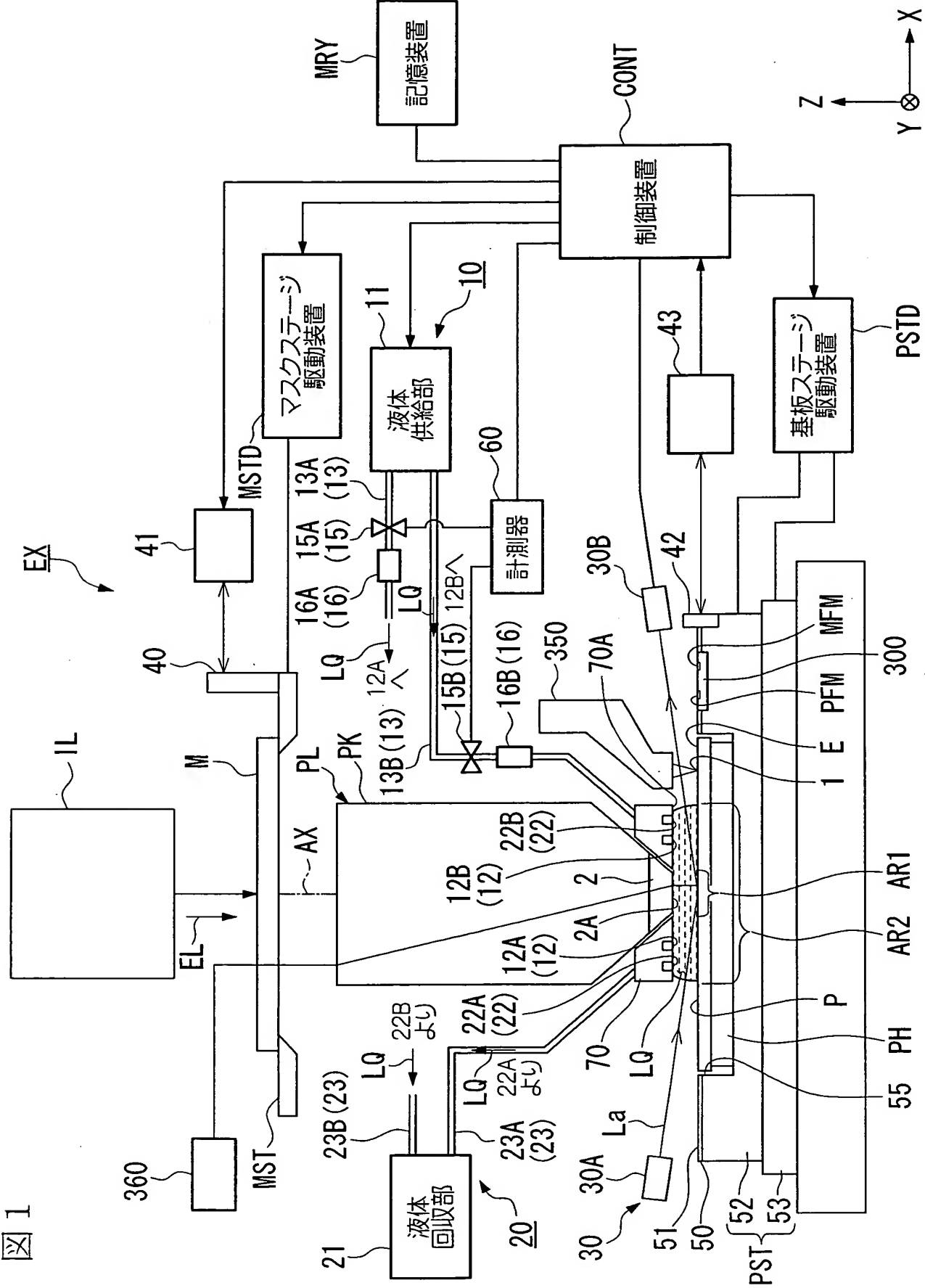


图 2

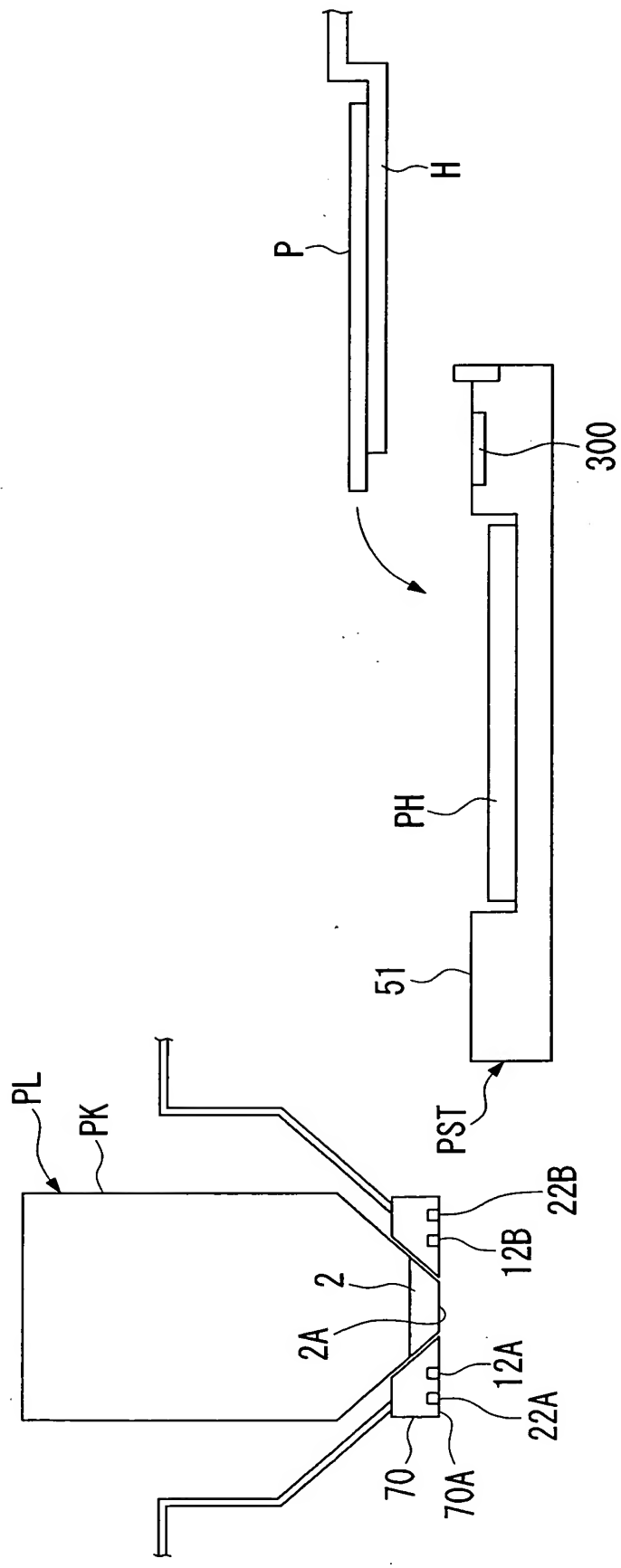


図 3

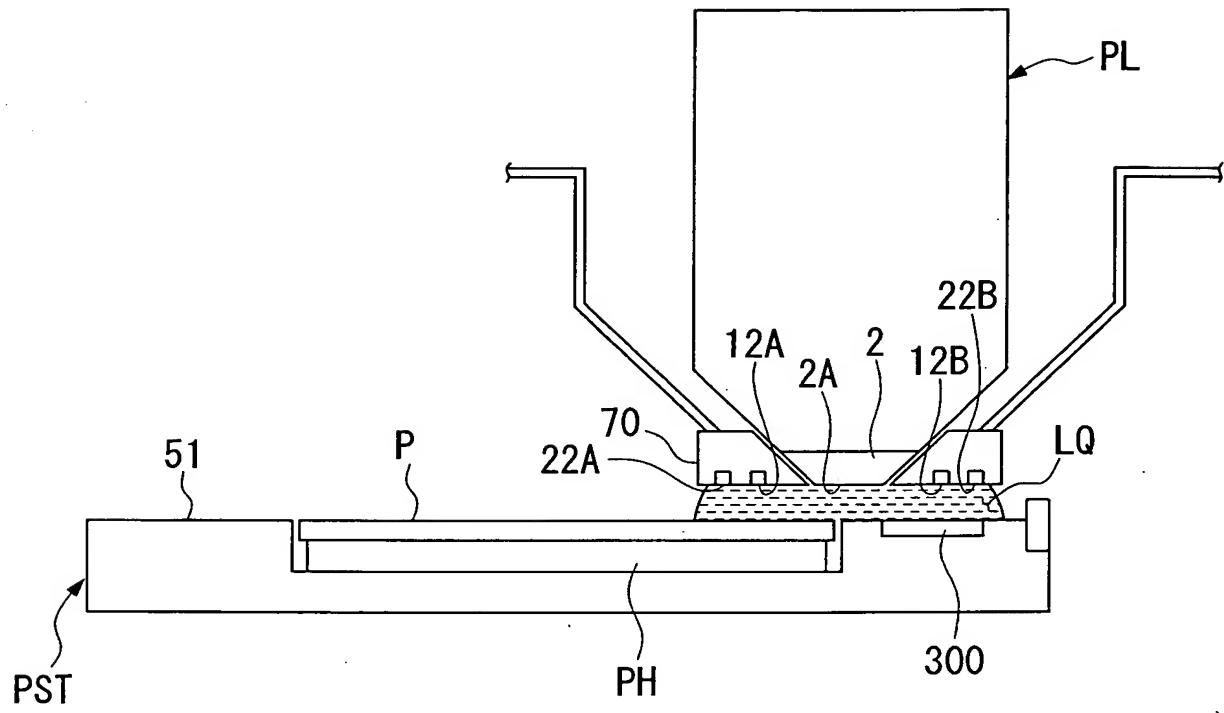


図 4

